

我が国の核データ測定施設の展望と世界情勢 (5)

原研施設における核データ測定の展望と HPRL の今後

日本原子力研究所 核データセンター

深堀 智生

fukahori@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

核データの測定は、微分及び積分実験に係わらず、評価済み核データ整備のために重要な役割を果たしている。日本原子力研究所（原研）もその施設を使用して、多くのグループによる核データ関連の測定活動が行われており、本報告ではその現状と及び今後の予定を紹介する。また、NEA/NSC 核データ評価国際協力ワーキングパーティー (WPEC) で整備が続けられている高優先度核データ要求リスト (High Priority Request List: HPRL) の抜本的改訂が 2004 年に予定されているので、この現状及び改定案を報告する。

2. 原研施設における核データ測定

東海研において、原子核科学研究グループは、タンデム加速器を用いて、主に核構造実験を行っている。捕獲断面積測定に必要な核構造データを取得するため、来年度から 3 号炉にて、即発ガンマ線分光実験を予定している。17~18 年度で、 ^{237}Np 、 $^{241,243}\text{Am}$ の熱~10 keV 領域の中性子捕獲断面積を測定し、19 年度以降は大強度陽子加速器施設 (J-PARC) での継続実験 (Cm 核種、高エネルギーデータ) を検討している。

超アクチノイド元素核化学研究グループは、新同位体の合成・同定、超ウラン元素の崩壊データ等を測定している。近年の主な成果は、 ^{241}Bk 、 ^{237}Cm 、 ^{233}Am の同定、 ^{261}Rf 、 ^{262}Db の合成、Am、Cm、Bk 同位体の崩壊データの測定等である。今後、同位体分離装置 (JAERI-ISOL) 等を使った超ウラン元素同定及び崩壊データ測定を予定している。

重元素核物理研究グループでは、主にタンデム加速器を用いて、中性子過剰核の質量数の決定、超ウラン元素領域のインビーム γ 線分光、短寿命核ビームによる爆発的天体での元素合成過程の研究、 $^{239}\text{Pu}(d, pf)$ 反応を用いた核分裂生成物収率測定 (K. Nishio, et al., Proc. of 2002 Symposium on Nuclear Data, Nov. 21-22, 2002, JAERI, Tokai, Japan, *JAERI-Conf* 2003-006, p.40 (2003)) 等を行っている。核分裂の逆反応としての $^{124}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$ や $^{136}\text{Xe}+^{124}\text{Sn}$ 融合反応についての研究を行っている。一方、変形した原子核 ^{198}Pt ターゲットをベースに、 ^{50}Ti 、 ^{54}C 、 ^{57}Fe 、 ^{64}Ni を照射して、Fm から Sg にかけての重元素合成を行い、変形の効果が重元素合成に有用かを調べている。超重元素に予測される閉殻構造を探るために、超ウ

ラン元素領域での高角運動量軌道のエネルギー準位を決定することが必要である。高角運動量の軌道は、変形とともにエネルギーが大きく下がる軌道があり、これらの準位を超ウラン元素領域で決定することにより、 $Z=114, 120, N=184$ 等の閉殻構造を研究する。 $^{30}\text{Si}+^{238}\text{U}$ の反応により、新同位体としての ^{264}Sg を合成する。この原子核は、自発核分裂と α 崩壊がほぼ同数観測されることが予測される。また、 $N=158$ の質量数分布の系統性に着目すると、これより重い元素領域では質量数分布がシャープな一山構造からふた山構造に遷移することが予測され、ポテンシャル構造を議論する上で有用である。超ウラン元素領域の高角運動量状態は、炭素、酸素などの重イオンビームによる核子移行反応を用いて励起し、脱励起 γ 線をGe検出器で測定する。また、タンデム加速器施設では、ウランターゲットに陽子を照射して核分裂生成物を取りだし、加速する計画を進めている。これと平行して、ISOLから質量分離された核分裂片等をトラップする装置を開発している。これにより、中性子過剰核の質量数の決定などを行う予定である。この他、KEKとの共同で、短寿命核ビーム加速に有用な標的/イオン源の開発、短寿命核ビームによる爆発的天体での元素合成過程の研究、短寿命核 ^8Li を用いたLiイオン導電体の拡散研究等を行っている。

核融合中性子工学研究室 (FNS) では、固体ブランケット及び先端材料のベンチマーク実験、低放射化材料に対する放射化実験及び放射化断面積測定 (TIARA も利用)、2次 (漏洩) γ 線スペクトル測定、1秒以下の短寿命核種からの γ 線生成断面積測定等を行っている。固体ブランケット材料 (LiAlO_2 、 Li_2TiO_3 、 Li_2ZrO_3) ベンチマーク実験では、FENDL-2、JENDL-3.2、ENDF/B-VI は LiAlO_2 、 Li_2TiO_3 について大体良く、 Li_2ZrO_3 については C/E が約 1.5 (0.1~10 MeV) となることがわかっている。デモ・タイプ・ブランケット実験 (濃縮 Li+多重層配置/Be 増倍材、図 1) では、トリチウム生成量を JENDL-3.2 及び FENDL-2 は過大評価 (特に増倍材表面) していることがわかった。先端材料 (純バナジウム、バナジウム合金 (V-4Ti-4Cr)、SiC) ベンチマーク実験では、FENDL-1 には中性子スペクトルに重大な不一致 (Si データ評価の不一致) が見付き、FENDL-2、JENDL-3.2、JENDL Fusion File 99 の中性子及び γ 線スペクトルはやや良い。炭素データはどのライブラリーでも良い結果を与えているようだ。遮蔽実験として、線量率に対する中性子ストリーミング効果の実験を行い、FENDL-2 は良い結果 (C/E=0.95~1.09) を与えることがわかっている。また、D-T 中性子によるスカイシャイン実験において、中性子線量率及び2次 γ 線の測定を 20~550 m の場所で行い、MCNP-4B による解析と比較した。230 m 以上で過大評価となる。低放射化材料に対する放射化実験では、連続及び多段階放射化断面積測定により冷却水表面で多くの陽子が生成され、放射化が促進されることがわかった。連続荷電粒子放射化反応実験 (図 2) では水素化合物の表面で深部の 10 倍促進されることを確認した。C、V、Fe、Cu、W、Pb、SS-316、 LiAlO_2 、 Li_2TiO_3 、 Li_2ZrO_3 について 2次 (漏洩) γ 線スペクトル測定を行い、計算結果は実験データと良い一致を与えている。ま

た、原研タンデム加速器及び東北大 CYRIC 施設を使用して、IFMIF 中性子源 ($d\text{-}^7\text{Li}$) スペクトルを模擬し、25 元素の 1 秒以下の短寿命核種からの γ 線生成断面積を測定した。TIARA で重陽子ビームを利用した 24~50 MeV における ^{27}Al 、 $^{\text{nat}}\text{Cu}$ 、 $^{61, 64}\text{Cu}$ 、 $^{\text{nat}}\text{W}$ 及び $^{181-184, 186}\text{Re}$ の放射化断面積も測定している。

施設安全グループでは、J-PARC で用いる低放射化コンクリートの放射化に関連する実験を FNS、KEK を用いて行った。今後、微分データの取得の計画がある。

高崎研では、生物機能研究グループが、TIARA を用いて、RI の製造法の開発にかかわる最適照射条件を求めため、荷電粒子反応核データを測定している。無担体 ^{186}Re の製造法の開発に伴い測定したデータは、 $^{186}\text{W}(p, n)^{186}\text{Re}$ 、 $^{186}\text{W}(d, 2n)^{186}\text{Re}$ 、 $^{\text{nat}}\text{W}(d, xn)^{181}\text{Re}$ 、 $^{\text{nat}}\text{W}(d, xn)^{182g+m}\text{Re}$ 、 $^{\text{nat}}\text{W}(d, xn)^{183}\text{Re}$ 、 $^{\text{nat}}\text{W}(d, xn)^{184g+m}\text{Re}$ 及び $^{\text{nat}}\text{W}(d, p)^{187}\text{W}$ である。この他、 ^{105}Cd の製造法の開発のために $^{\text{nat}}\text{Ag}(p, xn)^{105}\text{Cd}$ 及び $^{\text{nat}}\text{Ag}(d, xn)^{105}\text{Cd}$ 、 ^{76}Br の製造法の開発のために $^{\text{nat}}\text{Br}(p, pxn)^{73}\text{Se}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Br}(d, pxn)^{75}\text{Se}$ 及び $^{\text{nat}}\text{Br}(p, xn)^{76}\text{Kr} \rightarrow ^{76}\text{Br}$ の測定が終了し、現在解析中である。今後、 $^{\text{nat}}\text{Cr}(\alpha, xn)^{52}\text{Fe}$ 反応における実験値と TIARA の放射化計算ライブラリ (IRAC) による計算値がかなり異なっているため、反応断面積の測定を行なうことを検討している。

3. High Priority Request List (HPRL) の改訂

HPRL は国際的に優先度の高い核データに関する要求リストであり、原子力開発に重要な核データニーズを収集し、国際的な核データニーズのタイムリーな提供を図っている。2003 年 10 月 9, 10 日に HPRL の抜本的改訂に係わる内容の見直し、格納方法及び配布形式に関する検討を行うための会合 (OECD/NEA 本部、パリ、フランス) が開催された。ここで、現状の HPRL には、(1) 既に満足されている要求、実験的に困難なもの及び提供されている情報が不十分もの等が含まれており、改善が必要、(2) 現実に進行している計画に対して出されるべきであり、工業利用や公開された公的文書による裏付けが必要等の問題点が提起された。これに対処するために、新 HPRL における要求の標準化を策定し、答申を行った。これを受けて、本年 5 月の WPEC 会合で改定案が策定される予定である。詳細は、核データニュース、No.77、p.42 (2004)にあるので、ここでは概要を報告する。

現状の HPRL には既に満足されている要求、実験的に困難なもの及び提供されている情報が不十分でどの程度の要求かわからないもの等が含まれており、改善が必要である。また、「HPRL は現実に進行している計画に対して出されるべきであり、工業利用や公開された公的文書による裏付けが必要」が、合意された。利用者のニーズを考慮しても、核データ作成者側からの要求ではなく、利用者側からの有益性に基づいた要求が重要となる。誤差及び共分散データの重要性も指摘されている。

本会合では、新 HPRL における要求方法の標準化は、本来、次期 WPEC 会合によって

再検討されるべきであるが、そのたたき台としての素案を提案した。主なものを挙げると、(1) 必要な全ての項目は要求者によって与えられなければならない、(2) 要求の有益性に関しては具体的に数値で示すようなインパクト因子のようなものを十分に考慮しなければならない、(3) 要求の実現性に関しては、測定及び評価の専門家によって別々に検討されるべきである、(4) 要求に対してSG-Cは、既に要求精度を満たしている、または、測定が非常に困難であるので評価に依存する等のレビューを行う、等である。新 HPRLは、High Priority Request List (インパクト因子等を含む真に高優先度のリスト)、Other List (従来のHPRLから改訂された核データ要求リスト)、及びSatisfied List (要求が満足されていると思われるものを保存するリスト)の個別のリストから構成され、積分データなど直接核データに対するものでない要求は、別のところで議論する(図3)。新HPRLの必要事項(フォーマット)は、同位体、反応または過程、物理量(断面積、角度分布、エネルギースペクトル等)、エネルギー範囲、要求精度及び共分散データの必要性、利用分野、要求元のプロジェクト名、判断資料となる文書、インパクト因子、要求者名等であり、測定者、評価者等からのフィードバック・コメント、現状に関するコメント及びレビュー結果等が付加される。

本報告を作成するに当たり、大島真澄氏(原子核科学研究グループ)、西谷健夫氏(核融合中性子工学研究室)、永目諭一郎氏(超アクチノイド元素核化学研究グループ)、中島宏氏(施設安全グループ)、西尾勝久氏(重元素核物理研究グループ)、石岡典子氏(生物機能研究グループ)、田中進氏(利用計画課)のご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

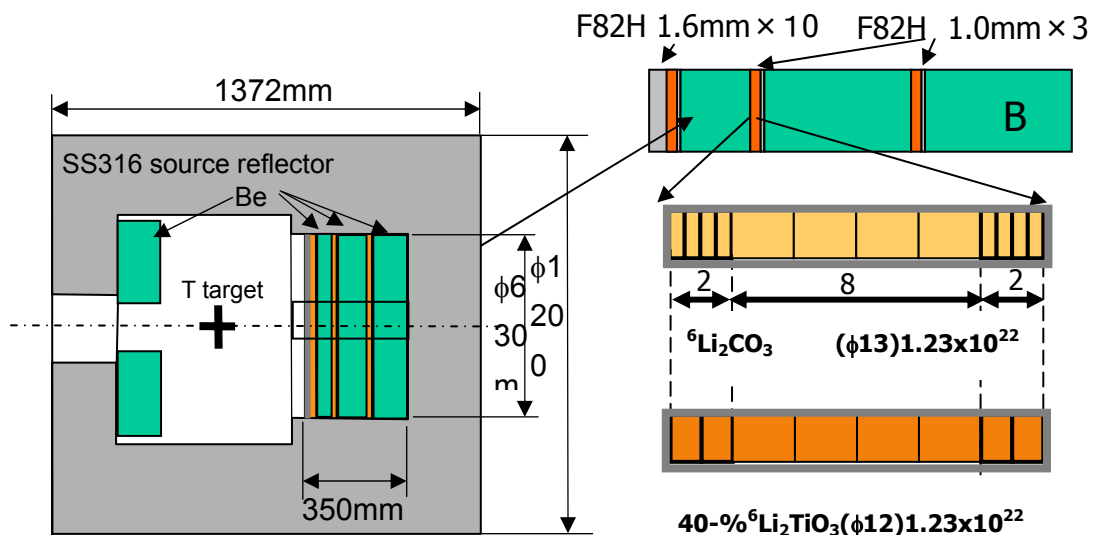


図1 FNSにおけるデモ・ブランケットに関するベンチマーク実験のレイアウト(西谷氏提供)

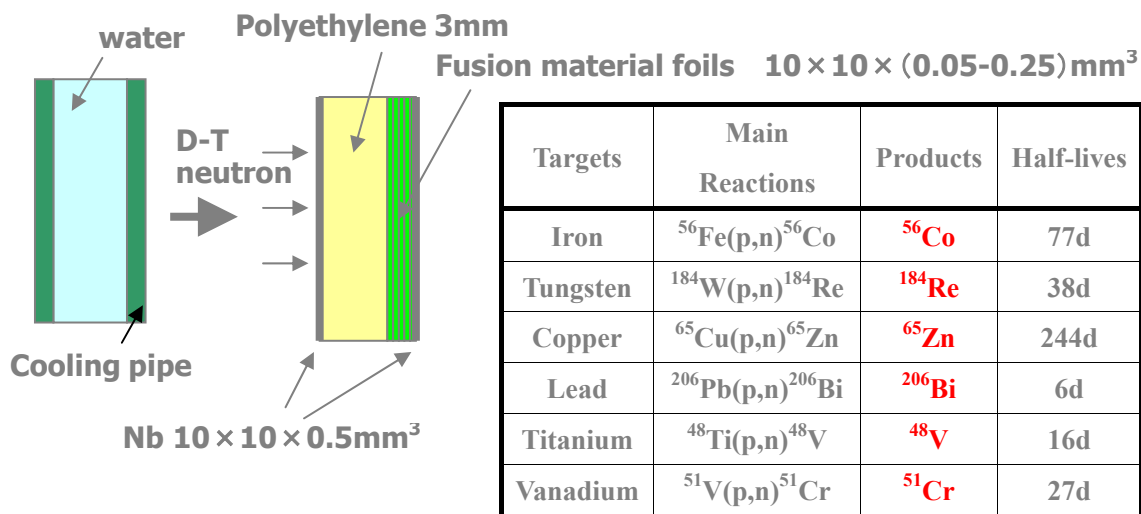
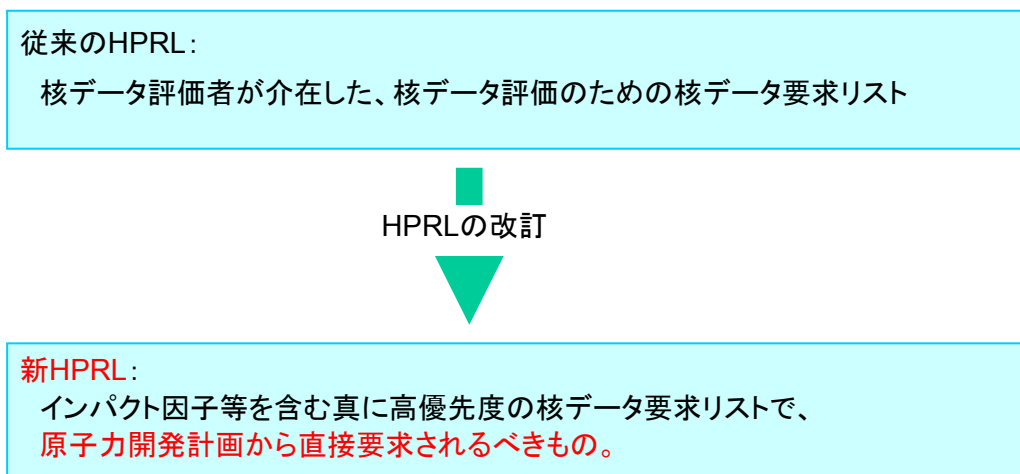


図2 FNSにおける連続荷電粒子放射化反応実験（西谷氏提供）



High Priority Request List(インパクト因子等を含む真に高優先度のリスト)

Other List(従来のHPRLから改訂された核データ要求リスト)

Satisfied List(要求が満足されていると思われるものを保存するリスト)

図3 HPRLの改訂の模式図